



TITLE:

Mathematical foundation of invasion exponents associated with adaptive dynamics(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Oba, Takuji

CITATION:

Oba, Takuji. Mathematical foundation of invasion exponents associated with adaptive dynamics. 京都大学, 2019, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21914>

RIGHT:

様式VI

博士学位論文調査報告書

論文題目

Mathematical foundation of invasion exponents associated with adaptive dynamics
(適応ダイナミクスにおける侵入指数の数学的な基礎付けに関する研究)

申請者氏名 大場 拓慈

最終学歴 平成28年3月

大学院情報学研究科 複雑系科学 専攻修士課程 修了
平成31年3月

京都大学大学院情報学研究科 先端数理科学 専攻博士後期課程
研究指導認定見込

学識確認 平成 年 月 日 (論文博士のみ)

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
(調査委員長) 教授 木上 淳

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 磯 祐介

論文調査委員 京都大学大学院 情報学研究科
准教授 藤原 宏志

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	大場 拓慈
論文題目	Mathematical foundation of invasion exponents associated with adaptive dynamics (適応ダイナミクスにおける侵入指数の数学的な基礎付けに関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、進化を記述する数理モデルの一つである適応ダイナミクス (Adaptive dynamics) の数学的な基礎付けについて論じている。大多数の個体が同一の形質値を有するような一つの種の集団において、この集団で支配的な個体群(residents)から突然変異によって新たな形質値をもつ微小個体群(mutants)が発生したとき、residents と mutants の間では生存競争が発生する。この突然変異によって生じる生存競争の結果、一方の個体群が勝利して他方の個体群は淘汰されることになる。この突然変異から淘汰までの一つの過程を、集団が持つ形質値の進化の 1 ステップとみなせる。Adaptive dynamics は、この進化の 1 ステップが繰り返されることで集団の形質値が段階的に変動していく様子を記述するものである。本論文の第 1 章では、この Adaptive dynamics の先行研究の概観を行っている。Adaptive dynamics では、競争モデルにおいて「どちらの個体群が最終的に集団の大多数を占めるか」という情報を反映させる「侵入指数」と呼ばれる量が抽出できることを仮定する。そしてこの侵入指数を用いた pairwise invasibility plots method(PIP 法)と呼ばれる手法により進化の過程を解析する。本論文の第 1 章 1 節では、「侵入指数」と PIP 法について概説を行い、2 節では、先行研究における幾つかのモデルを照会し、それらのモデルから抽出される「侵入指数」とその数学的正当化について先行研究における結果を紹介している。</p> <p>第 2 章においては本論文の研究の目的である侵入指数の抽出の数学的な妥当性についての研究成果を述べている。侵入指数の抽出の数学的な妥当性は「invasion implies substitution principle (IIS principle)」と呼ばれる原理の成否と同値である。この原理は、突然変異で出現した個体群の初期における適応度の局所的な振る舞いが、その個体群が大多数を占めるという状態の大域的な安定性を決定するというものである。それは数学的に言えば、力学系の固定点の局所的な安定性が力学系の大域的な振る舞いを決定するということになる。適応度の generating function が存在するという仮定の下で IIS principle が成立することは Geritz, Dercole, Rinaldi らの先行研究によって明らかになっていた。本研究ではまず、適応度の generating function の存在の簡単に検証可能な必要十分条件を与えた。さらに、この結果を用いて、異なる戦略を持つ 2 つの個体群の種内競争を表すモデルの範疇においても、適応度の generating function の存在は、系の微小な摂動により崩壊することを示した。これは、すなわち「IIS principle の系の微小な摂動に関する安定性については、先行研究の結果からは得られない」ことを意味する。この問題に対して、本研究では、従来 IIS principle の研究で用いられていた invasion fitness の拡張として、raw invasion fitness という概念を導入することで、適応度の generating function が存在しない場合も含め IIS principle が成立するための十分条件を示した。さらにこの結果を用いて、異なる戦略を持つ 2 つの個体群の種内競争を表すモデルの範疇において IIS principle の微小な摂動に対する安定性を示した。</p>			

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は 1 頁を 3 8 字×3 6 行で作成し、合わせて、3, 0 0 0 字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、4 0 0 ~ 1, 1 0 0 words で作成し
審査結果の要旨は日本語 5 0 0 ~ 2, 0 0 0 字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は数理生物学における種の進化の理論的モデル Adaptive dynamics の数学的な基礎の確立を目指すもので、新たな知見を与えるものとなっている。

種の進化の理論的モデルは、1973年の Maynard Smith & Price による進化ゲーム理論の提唱を嚆矢とする。このモデルは、2つの異なった形質の間の競争をゲーム理論を用いて静的に解析したものである。その後、静的なゲーム理論から導かれた力学系を用いた動的なモデルが Hofbauer & Sigmund・Taylor・Eshel・Takada & Kigami 等によって提案され、ゲーム理論における安定性と、力学系としての安定性の関係について研究が進められた。さらに1990年代の半ばに、Metz et al・Geritz・Dieckmann & Law らが、特定の形質値をもつ個体数の変動を表す力学系と、突然変異を表す確率モデルを組み合わせた Adaptive dynamics と呼ばれるモデルを提唱した。このモデルは現在では進化の理論的モデルとして標準的な地位を獲得し、盛んに研究が行われている。申請者はこの Adaptive dynamics の数学的基礎付けにおいて次の2点において肯定的な成果を挙げている。

(1) Invasion implies substitution principle の正当化：Adaptive dynamicsでは、突然変異で出現した新しい形質を持つ個体群と、それまでその種の大多数を占めていた形質を持つ個体群の競争を表す力学系のモデルを用いて、どちらの形質を持つ個体群が生き残るかを解析する。「力学系の局所的な安定性と大域的な安定性が一致している」場合にはこの解析は不動点の局所安定性を表す「侵入指数」と呼ばれる値の正負によって決定される。このような局所安定性と大域安定性の一致は「Invasion implies substitution principle(IIS principle)」と呼ばれ、それは、力学系が generating functionと呼ばれる関数から導かれる特殊な形をしている場合では成立することが知られていた。申請者は、そこに「raw invasion exponent」と呼ばれる量を導入して、generating function が存在を仮定することなく、IIS principle の成立のための十分条件を導いた。この十分条件は力学系の摂動に対して安定であり、さらに generating function の存在を仮定した先行研究の結果の自然な拡張となっている。

(2) Generating function の存在の特徴付け：先行研究で仮定されていた generating function の存在の検証可能な必要十分条件を明らかにした。さらに(1)の成果と組み合わせることにより、generating function が存在しないが IIS principle が成立するような簡単な具体例の構成に成功した。

以上の2点の成果は、数理生物学の分野で最も権威のある雑誌の一つである Journal of Mathematical Biology にも採録されており、国際的にも高い評価を受けていると判断される。このように本論文は博士(情報学)の基準を満たす高い学術的価値を有していると判断される。申請者に対して平成31年2月15日に本論文の研究成果を含む学識に関して論文調査委員による口頭試問を行い、博士(情報学)の基準を満たす学識を有していることを確認した。以上より論文調査委員会は、本論文が博士(情報学)の学位に相応しい旨の結論に達した。

また、論文調査委員会は、本論文のインターネットでの公開についても支障がないことを確認した。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。
更に、試問の結果の要旨(例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」)を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。
要旨公開可能日： 年 月 日以降